



心智模型研究——国外物理教育研究领域的新亮点

肖潇雨 黄致新

(华中师范大学物理科学与技术学院 湖北 武汉 430079)

(收稿日期:2019-04-22)

摘要:采用文献研究法对《Phys. Rev. Phys. Educ. Res.》《Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.》《American Journal of Physics》《Science Education》中数百篇文章进行分析,总结出目前国外物理教育研究领域中心智模型的研究主题、研究对象、研究内容,并分析其局限性与改进方向,试图为我国物理教育领域的心智模型研究提供参考。

关键词:物理模型 心智模型 物理教学 教育研究

物理模型蕴含关键的思想与方法,我国一向重视对模型的教学,却鲜少有研究者关注学生的心智模型及其发展特点。心智模型能够揭示学生思维过程的细节,对于教学实践具有重要意义。然而,学生的外部表达与其真实想法往往并不协调,因此有必要挖掘其理解问题的内部表征结构——心智模型。

心智模型由肯尼斯·克雷格(Kenneth Craik)于1943年提出,用于描述个体在心智内部所构造的有关现实的“小型模型”^[1]。普遍而言,心智模型决定了人们看待世界的方式^[2]。2012年,美国颁布了《K-12科学教育的框架:实践,跨学科概念与核心概念》,用于指导修订新一轮科学课程标准,并在文件中明确提到了心智模型^[3]。近年来,美国、克罗地亚、印度尼西亚、西班牙、土耳其等国对学生物理心智模型的研究进行得如火如荼,其研究成果对一线物理教学策略改进、课程改革、教材编写等提供了切实有效的指导建议。但目前我国关于物理心智模型的研究尚处于起步阶段,有必要从国外吸取相关经验。

本文统计了2000—2018年4种期刊中与物理心智模型相关的论文。以关键词“mental model”搜索并阅读文章摘要和结论以排除不切主题的文章,最终对《Phys. Rev. Phys. Educ. Res.》——《物理学评论(物理教育研究)》上的68篇论文、《Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.》——《物理学评论-物理教育研究专刊》上的100篇论文、《American Journal of

Physics》——《美国物理学期刊》上的54篇论文(搜索到148篇)、《Science Education》——《科学教育》上的113篇论文进行详细分析。后两个期刊中有些文章未被计入统计,主要由于《美国物理学期刊》中部分文章仅与理论研究有关而与教学或认知过程缺乏关联,而《科学教育》涉及的学科不限于物理,故有关化学(例如分子键)、生物(例如细胞转运过程)、地球科学(例如水循环)的心智模型文章被排除在外。

1 国外物理心智模型的研究趋势

心智模型论文篇数统计如图1所示,从图1可以看出,《美国物理学期刊》和《科学教育》对物理学习与认知的研究开展较早,且每年研究成果数量较为均衡。《物理学评论-物理教育研究专刊》自2005年左右开始研究心智模型,其文章不仅来自于全美,还来自于其他教育发达国家,研究队伍的国际化程度高,研究水平较高,且研究数量呈逐年递增的趋势,以上充分体现了近年来国外物理教育领域对心智模型研究的重视。而《物理学评论(物理教育研究)》作为心智模型研究成果最新且最多的期刊,其研究数量在2016年出现爆发,该井喷式增长得益于早期大量关于学习困难、概念理解、推理过程和表征方式的研究,上述内容均与心智模型的功能相关联,故而为心智模型的研究奠定基础。



图1 心智模型论文篇数统计图(2000—2018)

2 国外心智模型的研究主题

笔者通过阅读摘要,按相关程度由强到弱排序总结出每篇文章的研究主题(不多于3个),将统计频次与实际分析的论文数量之比值定为该期刊相应主题的论文百分比。由于《科学教育》的论文与物理心智模型的相关程度较弱,故此部分只分析其余3种期刊。

各期刊论文主题的比较如图2所示。从图2可以看出,《物理学评论-物理教育研究专刊》《物理学评论(物理教育研究)》《美国物理学期刊》3种期刊对学生的推理、探究过程、理解水平、概念调查、问题解决能力和教师专业发展、教育技术与教学改革6项主题的关注程度趋于一致。但是,仅有2种期刊完整且系统地调查与研究过学生关于特定主题的心智

模型及其功能。其中,《物理学评论-物理教育研究专刊》的研究成果最为丰富。同时,《物理学评论-物理教育研究专刊》更加关注问题解决能力的影响因素、表征方式、学习困难、科学思维与教学评价,既关注教师与学生的内部思维和外部表征,也重视初学者与专家心智模型的比较与过渡。分析外部表征方式与调查内部知识结构及其关系是《物理学评论-物理教育研究专刊》和《美国物理学期刊》的研究热点。特别是《美国物理学期刊》对有关建立和应用物理模型的教学关注度明显高于其他期刊,对物理教育策略的研究成为该期刊比例最高的主题,其研究热度远高于以物理教育研究为特色的《物理学评论-物理教育研究专刊》和《物理学评论(物理教育研究)》。不难看出,美国高等物理研究领域同样对物理教学十分重视。

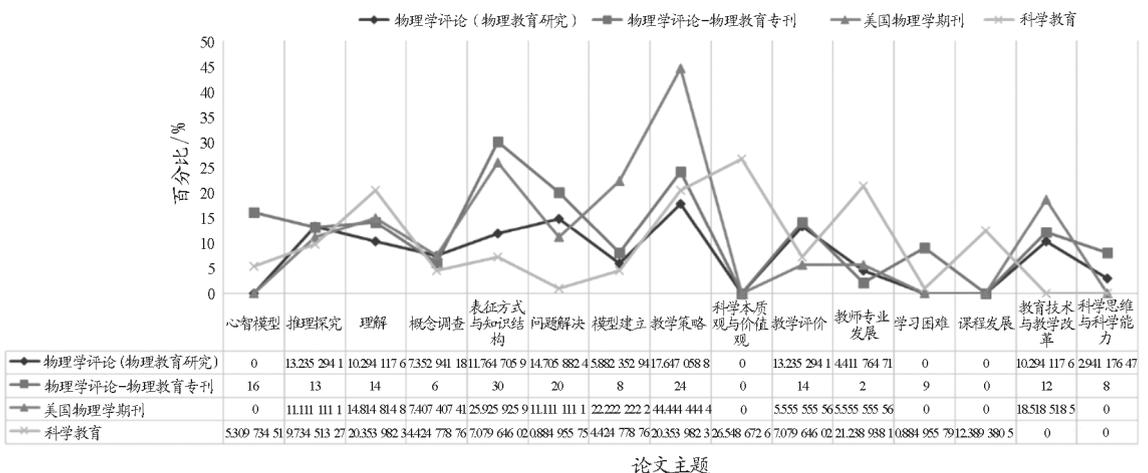


图2 心智模型论文主题统计图

为了比较细致地展示物理教育研究领域几个对象和研究内容,以下采用列表形式加以分析和说明,如表1~3所示。

表1 《物理学评论(物理教育研究)》心智模型论文主题统计表

主题	对象	内容	篇数/篇
推理	高中生、大学生	1. 主题:电磁感应;静电学;直流电路的电场;直流电路的电势;浮力;电流;量子力学	9
		2. 特点:基于证据;基于模型;从本体论角度进行推理	
理解	大学生	宇宙的起源与发展;量子力学双缝实验;用数学公式表征的综合问题;学生在实验室学习中的认知活动	7
科学思维	大学生	空间思维能力;基于证据的推理能力;建模能力	2
概念调查	大学生、高中生	有关宇宙时间的学习观念;有关分子动理论的迷思概念;对声音的概念理解;对量子力学的概念理解;有关天文学的概念转变;调查学生的物理本质(Physics identity)	5
表征方式	大学生、高中生、教师	1. 外部表征:解释天文现象时的可视化表征方式;实验教学中的图表分析;研究学生推理过程中的符号与手势;学生推理电磁学、微扰理论时使用的数学表征方式;学习电场时的表征方式;光波模型的可视化教学	8
		2. 内部表征:研究学生表征方式的一致性;对高中生量子物理知识整合方式的有效性研究	
问题解决	大学生	1. 主题:学生解决电磁学中散度和旋度、电流、量子力学问题的能力;电子实验室教学环境下的问题解决能力 2. 特点:分析学生解决综合问题的能力;从元认知角度分析;从认识论角度分析	10
非智力因素	高中生	研究精英学校的高中生面对高利害考试时的学习态度、期望与学习方法	1
模型建立	大学生、教师	分析学生的心智模型;建模的实验教学;静电学中基于模型的推理	4
教学策略	大学生、高中生、在职教师	量子物理、运动学、太阳-月球-地球模型、波动光学、右手定则、热学、液体压强、高斯定理等主题的教学与实验改进;研究特定主题下画图分析的必要性;研究支架式教学法与学生表征连续性的关系;结合 JiTT 与同伴教学法进行量子力学教学;在量子力学课堂中推行奖励性质的纠错机制	12
教育技术与教学改革	大学生、在职教师	1. 教育技术:从认知资源框架评价液体压强教学设计;使用计算机辅助设备研究学生的问题解决能力;在大学物理课堂开展交互式自定步调电子学习辅导课	7
		2. 教学改革:Scale-up 教学;适时教学 JiTT;同伴教学法;在大学物理导论课上布置基于研究的、条件精准型的课后作业;利用教师专业发展的实时观察工具研究 Workshop 对教师创新能力的改进	
教学评价	高中生、大学生	1. 性别差异:男女生的观察能力、竞赛表现、物理观念的发展变化、本科毕业生关于天文学和物理学的表现	9
		2. 评价量表的研发与发展:FCI 量表的发展;气体概念清单的研发;机械波概念调查清单的研发	
		3. 课程评价与教学评价:通过分析助教的对照评分结果改进物理导论课和量子力学的课程评价方法;基于认知资源框架评价液体压强的教学设计	
教师专业发展	在职教师、助教	利用实时观察工具分析教师的创新能力;调查物理导论课助教使用 FCI 量表识别学习困难的能力	3

表2 《物理学评论-物理教育研究专刊》心智模型论文主题统计表

主题	对象	内容	篇数 / 篇
心智模型	大学生	1. 调查、检验心智模型:调查学生有关光的量子性、能量、角动量、热激发现象、声音传播、热对流现象、微观摩擦等的心智模型;根据解释来检验心智模型的品质	16
		2. 验证心智模型的功能:研究心智模型与推理、预测之间的关系;调查心智模型与知识建构的关系;利用基于资源的模型检验学生推理的正确性	
学习困难	高中生、大学生	1. 主题:力学;量子力学;高等量子力学;热科学;电动力学矢量运算;重量的概念学习困难	9
		2. 特点:从本体论与语言学角度分析产生学习困难的原因;从认识论角度分析推理与问题解决能力中的困难及相互关系	
推理	高中生、大学生	运用启发式分析理论(heuristic-analytic theory)研究学生的思考过程;记录、分析高中生专家型科学推理过程;研究学生基于模型的推理过程;研究学生的推理能力与概念学习之间的因果关系;使用Videograph软件研究学生学习电磁学部分时使用数学公式进行推理的逻辑框架	13
理解	大学生、高中生	调查学生对物理导论课中“测量”概念的理解;研究学生对“声音”概念、引力概念的理解;对热物理的理解;调查学生关于流体静力学中阿基米德原理和帕斯卡定律的理解;对天文学导论课知识的理解;研究学生关于机械波传播的概念一致性	14
科学思维与科学能力	大学生、高中生、物理教师	1. 科学思维:使用类比支架式(analogical scaffolding)学习法促进电磁波、声波的教学;研究类比教学法的有效性	8
		2. 科学能力:利用辩论问题培养学生专家型问题解决能力;调查使初学者具备专家型科学能力的最短时间(结论:至少需要5至8周) ^[4]	
概念调查	高中生、大学生、物理教师	1. 态度与观念:运用CLASS量表调查导论课学生对近代物理的量子观点;调查物理教师关于广义相对论的认知观念	6
		2. 知识结构:使用网络分析方法描绘出大学生对计算物理学(Computational Physics)课的认识框架;从本体论与语言学角度分析学生的力学知识结构;研究概念转变	
表征方式与知识结构	大学生、高中生、物理专业人员、助教	1. 表征方式与问题解决:研究学生在运动学与功的主题下心智表征方式对问题解决的作用;研究表征方式与问题解决策略选择的关系;视觉线索、视觉注意对推理的影响;从专家与初学者角度来研究多重表征与问题解决能力的关系	30
		2. 表征方式与教学:调查电磁波的表征方式对类比学习的影响;研究教师课堂表征方式、教学语言对学习效果的影响;通过手势分析理解学生的学习;物理导论课中的同形问题(isomorphic problems)教学;研究多重表征的教学效果	
		3. 表征方式与知识结构:研究物理初学者的分类标准,反映其知识结构化程度;在量子力学主题下(波粒二象性与不确定原理)的描述法分类	
问题解决	大学生、高中生、物理专业人员、助教	1. 问题解决与教学:基于概念整合理论(Conceptual blending Theory)应用数学工具解决物理问题;从建模角度分析学生的知识结构;在运动学与功的主题下,研究学生表征方式与问题解决策略的关系;研究学生的认知模型与问题解决能力之间的关系;研究学生对同形问题的解决能力;研究影响学生问题解决策略的因素;研究学生在声音传播过程中的概念转变	20
		2. 影响问题解决能力的因素:分析物理专业人员的信念与价值观,研究导论课助教的问题解决能力	

续表 2

主题	对象	内容	篇数 / 篇
模型建立	初中生、大学生、职前教师、在职教师	1. 教学模型:波尔模型;Drude 自由电子的学习模型	8
		2. 认知模型:研究学生的思维模型(model of thinking);分析小学职前教师的建模过程,获得教师对相应主题的认知观念;调查教师有关动能到热能转化的心智模型;从初学者与专家学者角度评价物理问题的困难程度;调查教师关于能量概念及其转化过程心智模型	
教学策略	大学、高中	1. 开展基于研究的教学:在电容主题下开展基于研究的教学;将CLASS量表的调查结果应用于模型教学	24
		2. 研究不同教学法的作用:基于认知模型研究直观教学法对学生知识构建的作用;支架式教学法;使用 map-meeting 进行教学;分析计算机仿真模拟实验与亲手操作的物理实验对教学效果的影响;同形问题的变式教学(例如:由 2 步问题转换为 3 步问题);研究季节交替、日食、月食、月相等主题的教学序列	
教育技术与教学改革	大学生、高中生	1. 教育技术:分析电磁学部分多媒体在线教学的效果;多媒体力学教学;CPS 应用于教学利于学生概念理解和解决问题能力的提升;在热学实验教学中,使用红外相机帮助学生从宏观角度认识热现象	12
		2. 教学改革:基于多元特质的项目反应理论、运用 FCI 量表对学生熟练程度评分;使用网络分析法(network analysis) 描绘学生的认识框架;在大学物理导论课中使用分类课程 TIPP(Taxonomy of Introductory Physics Problems) 帮助学生将认知过程与物理问题相联系;使用项目反应理论 IRT 评价学生在线家庭作业的完成情况;采用 map-meeting 教学更加适合物理的初学者;基于资源活化框架(Resource activation Framework) 理论开展同伴教学法	
		3. 教材改进:研究物理导论课声音驻波的实例对教材内容提出改进意见;基于学生对重量概念的学习困难研究,对教材中出现的语义模糊提出改进建议	
教学评价	大学生、高中生	使用课堂科学推理测试量表 CTSR(the Classroom Test of Scientific Reasoning) 评价学生的推理能力;使用科罗拉多科学学习态度调查量表 CLASS(The Colorado Learning Attitudes about Science Survey) 评价学生的认识论观点;使用力学概念清单 FCI(Force Concept Inventory) 量表评价学生对牛顿力学概念的掌握情况;运用 Johnson-Laird 认知资源框架对 FMCE 量表提出改进意见;研究表示和评估学习动力的方法,促进对 FCI 与 FMCE 量表选项内容的发展;使用 Rasch 分析法用 电磁学简明评估量表 BEMA(Brief Electricity and Magnetism Assessment) 对学生的科学概念进行评估;使用项目反应理论 IRT 评价学生在线家庭作业的完成情况;从问题解决能力的角度评价学生自我诊断的有效性	14
教师发展	在职教师	研究教师的心智模型;研究高中物理教师的 PCK;用运动学图形理解测试量表 TUG-K 研究导论课助教的 PCK;研究教师在物理导论课中所选教学问题的特征	2

表3 《美国物理学期刊》心智模型论文主题统计表

主题	对象	内容	篇数 / 篇
推理	大学生	学生对近代物理实验中微观过程的解释;学生的思考过程	6
理解	大学生	调查学生对量子物理中概率解释的理解;调查学生关于电场和磁场物质性的理解	8
概念调查	大学生	调查学生关于量子力学的概念教学效果;调查大学物理导论课学生的认知资源;研究学生知识结构中概念转变的过程	4
表征方式	大学生	分析学生对牛顿第三定律中良性结构问题的推理模型;用多重表征方式表示功能转化的过程;分析学生在解释近代物理实验微观过程中使用的模型	14
问题解决	大学生	通过同伴反应来学习问题解决策略;研究与问题解决相关的知识结构及激发过程	6
模型建立	大学生	1. 教学模型: 黑洞的河流模型 (river model); 计算模型; Lord Kelvin's gyrostat 陀螺仪模型; 导论课中应用建模理论的模型建构; 可逆与不可逆热机、冰箱制冷的循环模型; 低压多相电流的模型	12
		2. 推理模型: 学习狭义相对论时的思考模型; 学生对近代物理实验现象所做解释的模型; 分析推理模型的本质特征	
教学策略	大学生	开展基于研究的光电效应课程教学; 统计物理计算模型与演算法的教学策略研究; 在大学物理导论课开展基于模型的演算活动; 研究摩擦力主题的实验与课程教学策略; 在天文学导论课中使用多重表征进行用引力透镜探测太阳系以外星球的方法教学; 研究同伴教学法对学习效果和、问题解决策略的影响; 研究学生亲手实践 (hands-on) 的单光子双缝干涉实验教学; 使用牛顿引力概念清单 (Newtonian Gravity Concept Inventory) 开展导论课教学; 交互式光学、静力学教学; 在医学预科学生教育中测量动脉血流量的实践活动; 应用概念替换进行概念辨别	24
教育技术与教学改革	大学生、高中生	1. 教育改革: 基于 facets - schemes 分析法研究课程安排对学生学科知识结构的影响; 持续 16 年对 CLASP (Collaborative Learning through Active Sense - making in Physics) 效果的研究; 研究同伴反应对学习问题解决策略的影响; 研究合作教学 (co-teaching) 的教学效果; 研究电磁学课程结构	10
		2. 教育技术: 应用交互仿真平台 phET 研究量子力学教学; 使用交互式模拟软件学习双层量子系统; 在大学课堂使用投票机器的物理教学; 使用 VR 技术进行狭义相对论的教学; 使用交互式教学法和演示教学法进行静力学教学; 使用数字气象仪进行太阳系规模的教学; 利用可视化技术进行静力学的教学; 使用课堂应答系统的大学物理教学	
教学评价	教师、大学生	从问题分类的角度分析教师与学习者的专业性; 分析 FCI 量表干扰项对学生选择情况的影响	3
教师教育	职前教师	研究探究课对职前教师职业发展的影响	3

3 国外物理教育领域心智模型的研究特点

结合表1,表2和表3中的信息,可以总结出《物理学评论-物理教育研究专刊》《物理学评论(物理教育研究)》《美国物理学期刊》3种期刊关于心智模型的研究特点.

3.1 研究对象的多样化

研究对象可分为学生、教师和物理专业人员. 学生群体主要由大学生、高中生和少量初中生与小學生构成,其中大学生大致分为大学物理导论课、微积分物理课、基于代数的物理课学生;教师群体分为职前教师、在职教师和大学物理课助教. 以上反映出研究不仅关注学生的“学”,同样关注教师的“教”. 例如,调查和研究物理专业人员(专家型)的心智模型

是为了更好地为纠正和改善学生(初学者)的心智模型而提出方案.除此之外,利用实时视频软件来观察和分析教师的教学活动及评价其专业水平的研究也不在少数,体现其对职前教师教育及教师专业发展的重视.

3.2 研究内容与教学实践紧密结合

前面的统计表格说明,在教材中物理模型较多的内容同样是目前物理心智模型研究的重点.例如,静电学的电场模型、电磁感应过程、波动光学双缝干涉模型、太阳-月球-地球模型、声音传播过程、黑洞模型、可逆与不可逆热机、冰箱制冷循环的模型等等,均是物理教学中的重点与难点.

3.3 研究范围的广泛性与深入交叉性

与心智模型相关的文献从认知角度来研究有效的教学策略、教育技术与教学改革、教学评价、教师专业发展,研究范围涉及到物理教育教学的方方面面.从研究内容来看,除了研究心智模型及其功能,还对影响学生推理、理解、表征方式、问题解决能力、模型建立能力的因素进行分析,同时也对其相互关系进行研究和讨论.例如,在对学生和教师的表征方式研究中,涉及到表征方式对选择问题解决策略的影响、表征方式对教学效果的影响、表征方式与知识结构的关系、表征方式对问题解决能力的影响等途径获得心智模型的信息.比如,文献[5]在对学生推理万有引力的研究中,通过研究学生的手势来获得学生头脑中活化的或可执行的心智图像,揭示学生无法通过语言表达的想法.描述性手势能够揭示隐性的认知过程,这种非正式的推理过程无法光靠语言表达清晰,同样反映其思维过程.笔者认为,有关心智模型的讨论角度也可以像上述研究范围一样尽量广泛,横向视角也可以更加融合.

3.4 基于标准的物理教育研究导向

研究者进行物理教育研究中最明显的导向特点是基于标准.例如,引导学生基于证据和模型推理,分析学生的认知过程是基于对其认知资源的分析,均有作为参照标准的对象,即重视推理、逻辑能力与科学思维的训练.除此之外,还有大量研究记录、分析、调查高中生、大学生、物理学博士的推理过程,从而构建出对应主题的“初学者”心智模型与“专家

型”心智模型.在此基础上,基于专家型心智模型来分析初学者心智模型,比较其差异性和采用教学干预措施来引发概念转变,逐渐完成由初学者心智模型到专家型心智模型的过渡.

3.5 多因素及多角度地研究物理教学过程

从认知角度对复杂的教学交互过程分析.例如,文献[6]通过研究教师在教学中对力的表征方式与学生学习效果的影响,得出力的合成比力的分解更利于学生理解力的矢量性;文献[7]建议,应该从宏观、介观和微观角度来引导学生对摩擦现象做出解释和分析,这样更利于学生全面把握摩擦力概念的物理实质;文献[8]从本体论、认识论与语言学角度分析产生学习电场概念困难的原因,分析推理与问题解决能力的相互关系;文献[9]在研究高中生对电场概念的理解与表征时,要求学生根据不同情境中电荷相互作用情况来绘制出表现因果关系的推理连环画.国外心智模型研究普遍使用课堂观察和录像,强调在非实验室环境下研究学生学习,观察学生讨论等学习情况.研究者们鼓励学生使用日常语言而非物理术语,以了解学生的思维过程,从一定程度上避免死记硬背和机械学习.

3.6 重视信息技术与物理课程的融合

教师群体重视新型教育技术与教学手段在课堂中的应用,并大胆进行教学改革,例如,在物理课堂利用在线软件 phET、交互式多媒体辅助、CPS、仿真模拟、VR 等技术.其中不乏许多原本不是为教育教学的软件,但是在经过教师的尝试之后成功应用到课程的整合之中,体现了教师与教育研究者的创新精神.笔者认为,这种自发的革新意识值得我国物理教师们效仿和学习.

3.7 重视开展基于研究的教学改革

例如,将 CLASS 量表的调查结果应用于模型教学;在大学物理导论课上布置基于研究的、条件精准型的课后作业;在教学中开展 Scale-up 教学、适时教学 JiTT、同伴教学法、Workshop、map-meeting,以及与其他教学法相结合的教学,以寻求更适合大学物理、中学物理教学情境中的物理教学组合;针对物理的意义建构合作学习(CLASP)的效果持续 16 年的研究;同样基于教学效果和基于相关研究来进

行教学设计和改进教学评价。笔者认为,持续且自发的教育研究与改革观念是富有生机且长久的,其改革动力源自一线物理教师的实际需求,改革意味着变化,而变化已然成为常态。同时,教师也有足够的自由来开展教育研究的尝试,体现了国外物理教育者是“教师”与“研究者”的结合。

3.8 重视分类

在国外物理教育研究领域,尤其是高等教育阶段的物理教育研究者非常重视对分类能力的培养。分类同样是“基于标准”的一种外延,同时也反映了个体头脑中知识整合的框架与认知结构。例如,使用网络分析方法描绘出大学生对计算物理学(Computational Physics)课程的认识框架(epistemic framing);从本体论与语言学角度分析学生有关力学的知识结构;用资源图研究概念转变过程;研究物理初学者的分类标准,反映其知识结构化程度;在大学物理导论课中使用分类学 TIPP(Taxonomy of Introductory Physics Problems),帮助学生将必要的认知过程与物理问题相联系。笔者认为,在我国的物理教学中也应引导学生进行分类能力的培养,在面对问题情境与复杂表征时能够快速将其分类以匹配有效的问题解决策略,对提高学生的问题解决能力无疑有着极大的帮助。

3.9 广泛使用测量量表进行与改进教学评价

国外大量研究者在物理教学实践中根据切需要而编制出尝试测量学生对相关物理概念理解的测量量表,并广泛应用于教学。国外学者在关于物理教育评价的研究中针对物理知识和学生学习态度研发了一系列富有开创性和可操作性的量表。例如力学概念清单 FCI(Force Concept Inventory, David Hestenes 1992)、力学和运动学概念评估 FMCE(Ron Thornton 和 Davidsokoloff)、力学基准测试 MBT(David Hestenes)、马里兰州物理期望测试 MPEX(Maryland Physics Expectations survey, Redish 1998)、科学态度调查 VASS(Ibrahim Halloun 和 David Hestenes)、物理科学认识论观点的评估 EBAPS(Elby 和 Fredericksen)^[10]、CTSR(Lawson Classroom Test for Scientific Reasoning)、CLASS(Colorado Learning Attitudes about Science Survey)、BEMA(Brief

(Electricity and Magnetism Assessment)、CSEM(Conceptual Survey on Electricity and Magnetism)、DIRECT(Determining and Interpreting Resistive Electric Circuit Concepts Test)等等。上述量表既能获得学生的学习困难、前概念和相异构想(alternative concept),为了解和纠正学生的心智模型提供信息,又通过反馈数据不断修正题型和选项,促进了量表本身的改革和完善。“工欲善其事必先利其器”,我们应重视应用先进的教育测量与评价技术尽早开发出适宜我国当前国情的多主题、多维度的物理教育研究量表,以深入开展具有中国特色的物理教育研究。

3.10 质性与量化结合的研究方法

在研究形式上,通常是问卷调查与访谈相结合。就调查工具而言,通常使用具有封闭式与开放式问题的综合问卷,前者用于评价学生的学习水平而后者用于获取学生对概念的理解。从抽样方法来看,主要采用立意抽样来确定个案研究的对象。国外研究普遍重视学生在推理过程中使用的手绘作品、文字还有口头语言表达。将学生分析解答过程全程录像或者录音,记录调查现场,在转录成文字的质性调查基础上再进行个案分析。心智模型的研究同样需要数据支撑。例如,文献[11]在研究高中生电磁感应的心智模型时,通过调查学生学习困难之处和推理的难点,并将其编码、统计次数;文献[8]将学生回答分类,以进行进一步的量化分析;文献[7]建立量化矩阵来计算与学生心智模型对应的理解水平,等等。

4 研究的局限与改进措施

4.1 不应止步于调查结果 应深化物理心智模型与教学实践的联系

多数研究在总结出心智模型之后会对其成因进行分析,以及对前期探查的学习困难做出解释,除少数文章对相关主题教学提出建议之外,少有将研究结果应用于后期教学的展望。笔者认为,在调查学生心智模型的基础上,还可以了解形成学生该种心智模型的教学方式等信息,有助于探讨教学手段和学生物理概念模型建立过程的联系,以进一步为一线教学提出指导性意见。

4.2 提升运用认知心理学进行物理教育研究的能力

在物理教育教学中,深入到认知层面去研究教师教和学生学应该是未来研究的趋势.有研究提到可以运用 think-aloud(有声思维)来提升对不同群组所产生认知的理解.这需从认知效果和描述性方法的研究上来设计更便于理论研究和实际操作的问题解决方法.

4.3 研究心智模型的动态发展过程

在既有心智模型调查中,绝大多数是对固定群体、相同主题的心智模型状态的研究,是针对特定时期的“静态化”研究,鲜少对该类群体心智模型的跟踪调查,和对其变化过程中概念转变的研究.随着研究技术的发展,研究心智模型的动态发展过程未尝不是一种可能.

参考文献

- 1 彼得·圣吉.第五项修炼[J].郭进隆,译.上海:三联书店,1998.18~21
- 2 吕晓俊.心智模型的阐释:结构、过程与影响[M].上海:人民出版社,2007.3~7
- 3 Achieve. The Next Generation Science Standards - AppendixA[EB/OL]. [2018-09-18]. [https://www.nextgenscience.org/sites/default/files/resource/files/AppendixA/Conceptual Shiftsin the Next Generation Science Standards. pdf](https://www.nextgenscience.org/sites/default/files/resource/files/AppendixA/Conceptual%20Shiftsin%20the%20Next%20Generation%20Science%20Standards.pdf). 转引自张静,徐大海.中美大学生静电学心智模型比较研究[J].长江大学学报(自科版),2014,(11)28

- 4 E. Etkina, A. Karelina, M. Ruibal - Villasenor. How long does it take? A study of student acquisition of scientific abilities[J]. Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. 4,020108(2008)
- 5 Stephens A L, Clement J J. Documenting the Use of Expert Scientific Reasoning Processes by High School Physics Students[J]. Physical Review Special Topics - Physics Education Research, 2010, 6(2):15
- 6 Aviani I, Erceg N, MetIn V. Drawing and using free body diagrams: Why it may be better not to decompose forces[J]. Physical Review Special Topics - Physics Education Research, 2015, 11(2):020137
- 7 Kurnaz M A, Çigdem Ekşi. An Analysis of High School Students' Mental Models of Solid Friction in Physics[J]. Educational Sciences: Theory and Practice, 2015, 15(3):787~795
- 8 Furió C, Guisasola J. Difficulties in learning the concept of electric field[J]. Science Education, 1998, 82(4):511~526
- 9 Ying Cao, Bárbara M. Brizuela. High school students' representations and understandings of electric fields[J]. Phys. rev. phys. educ. res, 2014, 12(2):020102
- 10 Edward F. Redish. Teaching Physics with the Physics Suite[M]. Wiley, 2003. 91~114
- 11 Katarina Jelicic, Maja Planinic, Gorazd Planinsic. Analyzing high school students' reasoning about electromagnetic induction[J]. Phys. rev. phys. educ. res, 2017, 13(1)

Study on the Mental Model——New Highlights in the Field of Foreign Physics Education Research

Xiao Xiaoyu Huang Zhixin

(College of Physical Science and Technology, Central China Normal University, Wuhan, Hubei 430079)

Abstract: In this paper, hundreds of articles in *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.*, *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.*, *American Journal of Physics* and *Science Education* are analyzed by literature research method. This paper summarizes the topics, objects, contents, limitations and improvement directions of the research on mental model in the field of Physics education in foreign countries, and attempts to provide reference for the research on mental model in the field of Physics education in China.

Key words: physical model; mental model; physics teaching; education research